

PAT-NO: JP356168518A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 56168518 A

TITLE: DAMAGE DETECTION OF SUN GEAR

PUBN-DATE: December 24, 1981

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

ENOHARA, KENJI

HASHIZUME, TSUTOMU

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

HITACHI Zosen CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP55073093

APPL-DATE: May 31, 1980

INT-CL (IPC): G01H001/00, G01M013/02 , G01N029/04 ,  
F16H001/28

US-CL-CURRENT: 73/587, 73/593 , 73/654

## ABSTRACT:

**PURPOSE:** To accurately detect damage developed in a sun gear by computing two kinds of time series signals obtained from the detection meshing noises or vibrations.

**CONSTITUTION:** A meshing signal detected with a signal detector 1 is passed through filter extract only frequency components effective for the detection of damage so that an envelop is detected with an envelop detector 6. On the other hand, the revolution frequency of a sun gear is detected with a rotation detector 2 and inputted as a rotation signal into dividers 4 and 5 to divide. The output of the envelop detector 6 and the output of the dividers 4 and 5 are separately inputted into AD converters 7 and 8. After the sampling of the output of the envelop detector 6, it is inputted into equalizers 9 and 10, the outputs of which are inputted into a comparator 11 to determine the ratio therebetween. The output thereof enables the detection of damage developed in a sun gear.

COPYRIGHT: (C)1981,JPO&Japio

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭56—168518

⑥ Int. Cl.<sup>3</sup>  
 G 01 H 1/00  
 G 01 M 13/02  
 G 01 N 29/04  
 // F 16 H 1/28

識別記号

庁内整理番号  
 6860—2G  
 6458—2G  
 6558—2G  
 2125—3J

④ 公開 昭和56年(1981)12月24日

発明の数 1  
 審査請求 未請求

(全 5 頁)

## ⑭ 太陽歯車の損傷検知方法

① 特 願 昭55—73093

② 出 願 昭55(1980)5月31日

⑦ 発 明 者 榎原憲二

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
 号日立造船株式会社内

⑦ 発 明 者 橋爪務

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
 号日立造船株式会社内

⑦ 出 願 人 日立造船株式会社

大阪市西区江戸堀1丁目6番14  
 号

⑦ 代 理 人 弁理士 藤田龍太郎

## 明 細 書

## 1 発明の名称

太陽歯車の損傷検知方法

## 2 特許請求の範囲

① 遊星歯車の任意の公転角度に発生するかみ合い音または振動を、前記遊星歯車の公転に同期した一定の間隔毎に検出し、前記検出から2種類の時系列信号を得、前記2種類の時系列信号からそれぞれ所要個数の信号の相加平均を求め、前記相加平均により得た2つの信号成分の比から稼働中の遊星歯車機構の太陽歯車に発生した損傷を検知することを特徴とする太陽歯車の損傷検知方法。

## 3 発明の詳細な説明

この発明は、稼働中のプラネタリ型遊星歯車機構の太陽歯車に発生した損傷を、かみ合い音または振動を利用して検知するようにした太陽歯車の損傷検知方法に関する。

一般に、歯車のかみ合いにおいては、宿命的に、かみ合い音または振動を発生し、その発生原因の

1つは歯車誤差であり、かみ合い音または振動（以下かみ合い信号と称す）の振幅は、かみ合う歯車の誤差に依存する。そこでピッチングなどにより損傷が発生すると見掛上極端に大きな誤差になり、その損傷をもつ歯がかみ合う際には、大振幅のかみ合い信号が出現する。

そこで、このかみ合い信号を監視することにより、損傷の発生を検知することができる。

しかし、かみ合い信号には、かみ合う歯車それぞれの誤差の影響が含まれているため、単に監視するだけでは、いずれの歯車に損傷が発生したか判別することが困難であり、特に複雑なプラネタリ型遊星歯車機構においては、判別することが極めて困難であり、このため、かみ合い信号をそれぞれの歯車の誤差に由来する成分毎に分解して監視する必要がある。

この発明は、前記の点に留意してなされたものであり、つぎにこの発明を、その1実施例を示した図面とともに詳細に説明する。

図面において、(B)は歯数  $Z_s$  の太陽歯車、(P)

(1)

(2)

は歯数  $Z_p$  の複数の遊星歯車であり、太陽歯車(8)とかみ合いそれぞれの中心の回りを回転するとともに太陽歯車(8)の回りを公転する。(R)は歯数  $Z_r$  の内歯車であり、遊星歯車(P)の外側に設けられ、遊星歯車(P)とかみ合い、太陽歯車(8)、遊星歯車(P)とともにプラネタリ型遊星歯車機構を構成する。(1)は信号検出器であり、太陽歯車(8)と遊星歯車(P)および内歯車(R)のかみ合いにより発生するかみ合い信号を検出する。(2)は遊星歯車の公転回数を検出する回転検出器、(3)は信号検出器(1)で検出されたかみ合い信号のうちから損傷検知に有効な周波数成分のみを検出する帯域フィルタ、(4)は回転検出器(2)からの回転信号を分周する第1分周器、(5)は第1分周器(4)と同様に回転検出器(2)からの回転信号を分周する第2分周器、(6)は帯域フィルタ(3)の出力のピーク値の包絡線を検出する包絡線検波器、(7)は第1A/D変換器であり、包絡線検波器(6)の出力が入力されるとともに、第1分周器(4)の出力が入力され、第1分周器(4)の出力により包絡線検波器(6)の出力のサンプリングを行なう。

(3)

陽歯車(8)の回転角度原点と遊星歯車(P)の公転角度原点および内歯車(R)の角度原点が線分AA'上に並ぶとする。そこで、このかみ合い状態を原点とした場合に、太陽歯車(8)が回転するとともに遊星歯車(P)が公転し、再び同一のかみ合いに戻るまでに発生するかみ合い信号の総数は、遊星歯車(P)の歯数  $Z_p$  と、内歯車(R)の歯数  $Z_r$  および、太陽歯車(8)の1回転に対する内歯車(R)上の遊星歯車(P)のかみ合い数  $m$  の最小公倍数  $L_{mpr}$  として求まる。但し、 $m = Z_s \times Z_r / (Z_s + Z_r)$  である。

したがって、同一のかみ合いに戻るまでの遊星歯車(P)の公転回数  $N_p(mpr)$  は、 $N_p(mpr) = L_{mpr} / Z_r$  として求まる。さらに、ここで太陽歯車(8)の  $i$  番目の歯  $S_i$ 、特定の遊星歯車(P1)の  $j$  番目の歯  $P_j$ 、内歯車(R)の  $k$  番目の歯  $R_k$  がかみ合うときの、それぞれの歯車の歯の歯形誤差を  $E_{si}$ 、 $E_{pj}$ 、 $E_{rk}$  とし、かみ合い信号の振幅を  $A_{ijk}$  とする場合  $A_{ijk}$  と  $E_{si}$ 、 $E_{pj}$ 、 $E_{rk}$  との関係は次の(1)式で近似する。但し、 $E_{pj}$  は太陽歯車(8)と内歯車(R)と

(6)

行なう。(8)は第2A/D変換器であり、包絡線検波器(6)の出力が入力されるとともに、第2分周器(5)の出力が入力され、第2分周器(5)の出力により包絡線検波器(6)の出力のサンプリングを行なう。(9)は記憶能力をもつ第1平均化処理器であり、第1A/D変換器(7)の複数回のサンプリングによるデータが入力されるとともに、それぞれのデータの相加平均を求めて出力する。(10)は記憶能力をもつ第2平均化処理器であり、第2A/D変換器(8)の複数回のサンプリングによるデータが入力されるとともに、それぞれのデータの相加平均を求めて出力する。(11)は割算器であり、第1、第2平均化処理器(9)、(10)の出力が入力され、双方の比を求めて出力する。

つぎに、前記実施例の動作について説明する。

まず、第1図に示すように、太陽歯車(8)の中心を通る線分AA'上に、太陽歯車(8)の中心から順に、太陽歯車(8)の  $i$  番目の歯  $S_i$ 、特定の遊星歯車(P1)の  $j$  番目の歯  $P_j$ 、特定の遊星歯車(P1)の中心、内歯車(R)の  $k$  番目の歯  $R_k$  が並ぶ時に、太

(4)

にかみ合う歯形誤差を合成したものであり、 $k$  は定数である。

$$A_{ijk} = K \times E_{si} \times E_{pj} \times E_{rk} \dots (1) \text{式}$$

しかし、実際の計測において実測されるかみ合い信号には、かみ合い毎に生じる周期的なかみ合い信号の成分の他に、歯面の潤滑状態や軸受の摩擦および軸受隙間内での歯車軸の変動などによる不規則な雑音の成分が存在する。そこで実測されるかみ合い信号の振幅を  $A'_{ijk}$ 、雑音の振幅を  $N_{ijk}$  とした場合は、次の(2)式の形になる。

$$A'_{ijk} = A_{ijk} + N_{ijk} \dots (2) \text{式}$$

したがって、遊星歯車(P)の公転に同期して前述の第1図に示した状態で線分AA'上において第1回目の計測を行ない、この時実測されるかみ合い信号の振幅を  $A'_{ijk(1)}$  とし、第1回目の計測から起算して遊星歯車(P)が  $N_p(mpr)$  回公転した時に第2回目の計測を行ない、この時実測されるかみ合い信号の振幅を  $A'_{ijk(2)}$  とし、同様の要領で遊星歯車(P)が  $N_p(mpr)$  回公転する毎に、その時実測されるかみ合い信号の振幅を  $A'_{ijk(n)}$  として

(8)

合計  $q$  個検出する。すなわち、これが時系列信号であり、さらに、この相加平均  $\overline{A'ijk(n)}$  を求めると次の(3)式のようになる。但し、 $Nijk(n)$  は計測毎の雑音の振幅を示す。

$$\overline{A'ijk(n)} = Aijk + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Nijk(n) \quad \dots (3) \text{式}$$

ここで、 $Nijk(n)$  は不規則な振幅であり、これが  $N(0, \sigma^2)$  の正規分布に従えば、その相加平均を求めることにより分散は  $\sigma^2/q$  となり、不規則な雑音の成分を減少し、より忠実な噛み合い信号  $Aijk$  を得ることができる。

一方、第2図に示すように、線分  $AA'$  上に、太陽歯車(8)の  $i$  番目の歯  $S_i$  に無関係に、特定の遊星歯車(P1)の  $j$  番目の歯  $P_j$  と内歯車(R)の  $k$  番目の歯  $R_k$  とが第1図に示した順序で並ぶ際の遊星歯車(P)の公転回数  $Np(pr)$  は、遊星歯車(P)の歯数  $Zp$  と内歯車(R)の歯数  $Zr$  との最小公倍数  $Lpr$  と、内歯車(R)の歯数  $Zr$  とから  $Np(pr) = Lpr/Zr$  となる。ここで、前述と同様に線分  $AA'$  上で遊星歯車(P)の公転に同期して、遊星歯車(P)が  $Np(pr)$

(7)

差の平均を示すものとなる。

さらに、第3図に示すように、線分  $BB'$  を、第1図ないし第2図に示した線分  $AA'$  から太陽歯車(8)の中心を原点に角度  $\theta$  だけ時計方向に回転させた位置に設けた場合に、太陽歯車(8)の  $i+1$  番目の歯  $S_{i+1}$  に無関係に、特定の遊星歯車(P1)の  $j+1$  番目の歯  $P_{j+1}$  と、内歯車(R)の  $k+1$  番目の歯  $R_{k+1}$  が線分  $B-B'$  上に、第2図に示した順序と同様の順序で並ぶ際に、前述と同様の計測を線分  $BB'$  上で行ない、さらにかみ合い信号の振幅の相加平均を求めると、(6)式と同様に、次の(7)式で示される。

$$\overline{A.(j+1)(k+1)} = K \times Ep(j+1) \times Er(k+1) \times \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+1+fn/a) \quad \dots (7) \text{式}$$

但し、 $\cdot$ 印は太陽歯車(8)に無関係であることを示し、 $f = Zs$ ,  $a = Np(mpr)/Np(pr)$  である。

さらに、 $\frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+1+fn/a)$  は、前述と同様に太陽歯車(8)の歯形誤差の平均を示す。

さらに、これは線分  $BB'$  に限らず、線分  $AA'$  を

(9)

回公転する毎にかみ合い信号を  $q$  個検出する。すなわち、これが時系列信号であり、さらにその際実測される噛み合い信号の振幅を  $A'.jk(n)$  とした場合の相加平均を求めると、次の(4)式で示される。

$$\overline{A'.jk(n)} = A.jk(n) + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N.jk(n) \quad \dots (4) \text{式}$$

但し、 $\cdot$ 印は太陽歯車(8)の歯に無関係であることを示し、 $N.jk(n)$  は計測毎の不規則な雑音の振幅を示す。

さらに、 $A.jk(n)$  は計測毎の噛み合い信号の振幅を示し、 $\overline{A.jk(n)}$  は、次の(6)式で示される。

$$\overline{A.jk(n)} = K \times Epj \times Erk \times \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+fn/a) \quad \dots (5) \text{式}$$

但し、(5)式において  $f = Zs$ ,  $a = Np(mpr)/Np(pr)$  であり、 $\frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+fn/a)$  は太陽歯車(8)の歯形誤差の平均を示し、 $a = Zs = f$  のときには、次の(6)式が成り立つ。

$$\frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+fn/a) = \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+n) \quad \dots (6) \text{式}$$

ここで、 $q = b \times Zs$  になるように  $q$  を設定すると、(6)式は太陽歯車(8)のすべての歯の歯形誤

(8)

任意の角度回転させた回転位置においても成り立つので、いずれの線分上における計測によっても常に太陽歯車(8)の歯形誤差の平均を求めることができ、事実上太陽歯車(8)の影響は除去されることになる。

したがって、太陽歯車(8)と遊星歯車(P)および内歯車(R)の歯車(8)の歯形誤差の影響を含む  $\overline{A'ijk(n)}$  と、太陽歯車(8)の歯形誤差の影響が除去された  $\overline{A.jk(n)}$  とから  $\overline{A'ijk(n)} / \overline{A.jk(n)}$  を考えると次の(8)式のようになる。

$$\frac{\overline{A'ijk(n)}}{\overline{A.jk(n)}} = \frac{Aijk + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Nijk(n)}{A.jk(n) + \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q N.jk(n)} \quad \dots (8) \text{式}$$

また、 $q$  が充分大きく、不規則な雑音成分を無視できる状態を考えると、(8)式から次の(9)式の結果を得る。

$$\frac{\overline{A'ijk(n)}}{\overline{A.jk(n)}} = \frac{K \times Es_i \times Epj \times Erk}{K \times Epj \times Erk \times C_1} = \frac{Es_i}{C_1} \quad \dots (9) \text{式}$$

但し、 $C_1 = \frac{1}{q} \times \sum_{n=1}^q Es(i+fn/a)$  であり、 $f = Zs$  ,

60

$a = Np(mpr) / Np(pr)$  である。

そこで、(9)式から太陽歯車(8)の*i*番目の歯*S<sub>i</sub>*がかみ合う時の太陽歯車(8)の歯形誤差を検知することができ、これを*i*番目の歯*S<sub>i</sub>*だけでなく、指定個数の歯について、前述の計測および計算をそれぞれ行なえば、太陽歯車(8)の損傷を検知することができる。

したがって、第4図に示すように、信号検出器(1)により、稼働中の太陽歯車(8)、遊星歯車(P)、内歯車(R)のかみ合いによるかみ合い信号を検出し、つぎに、帯域フィルタ(3)により、検出されたかみ合い信号のうち損傷検知に有効な周波数成分のみを取り出し、さらに、包絡線検波器(6)により帯域フィルタ(3)の出力のピーク値の包絡線のみを検出する。一方、回転検出器(2)により遊星歯車(P)の公転回数を検出し、検出された回転信号を第1、第2分周器(4)、(5)にそれぞれ入力し、第1分周器(4)において、回転信号を $1/Np(mpr)$ に分周し、第2分周器(5)において、回転信号を $1/Np(pr)$ に分周する。

01

第2平均化処理器(9)、(10)にはそれぞれ*q*回のサンプリングによる*n*個の平均値が存在する。

そこで、第1、第2平均化処理器(9)、(10)のそれぞれ*n*個の平均を割算器(11)に入力し、*m*個の平均値のそれぞれについて比を求めて出力する。

したがって、割算器(11)からは、 $\Delta t$ 間隔ごとの*n*個のデータが出力され、これが*i*番目の歯*S<sub>i</sub>*がかみ合う時の歯形誤差を示す(9)式の $E_{si}/O_i$ にそれぞれ相当し、実際の計測による割算器(11)からの出力は第5図に示すように、損傷の発生した歯がかみ合う時には、*D*、*D'*で示す大きな値となつて示される。尚同図において*D*と*D'*との間が1周期に相当する。

以上のように、この発明の太陽歯車の損傷検知方法によると、遊星歯車の任意の公転角度に発生するかみ合い音または振動を、遊星歯車の公転に同期した一定の間隔毎に検出し、検出から2種類の時系列信号を得、2種類の時系列信号からそれぞれ所要個数の信号の相加平均を求め、相加平均により得た2つの信号成分の比から稼働中の遊星

03

そこで第1 A/D変換器(7)に包絡線検波器(6)の出力と、第1分周器(4)の出力とが入力され、第1分周器(4)の出力に同期して包絡線検波器(6)の出力のサンプリングを開始し、指定された時間間隔 $\Delta t$ で指定個数*n*個のデータをサンプリングし、第1回目のサンプリングを終え、第1平均化処理器(9)に入力する。一方、第2 A/D変換器(8)に包絡線検波器(6)の出力と第2分周器(5)の出力とが入力され、第2分周器(5)の出力に同期して包絡線検波器(6)の出力のサンプリングを開始し、指定された時間間隔 $\Delta t$ で指定個数*n*個のデータをサンプリングし、第1回目のサンプリングを終え、第2平均化処理器(10)に入力する。但し、サンプリングの開始は第1 A/D変換器(7)のサンプリングの開始と同時に進行される。

さらに、第1平均化処理器(9)において、第1 A/D変換器(7)からの*n*個のデータが $1/q$ 倍され、第2平均化処理器(10)において、第2 A/D変換器(8)からの*n*個のデータが $1/q$ 倍される。

前述の操作を*q*回くり返すことにより、第1、

02

歯車機構の太陽歯車に発生した損傷を検知することができる。

#### 4 図面の簡単な説明

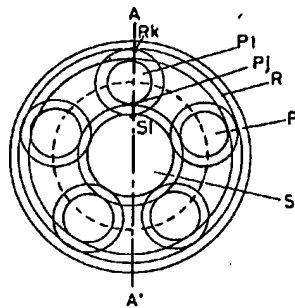
図面はこの発明の太陽歯車の損傷検知方法の1実施例を示し、第1図ないし第3図はこの発明の適用されるプラネタリ型遊星歯車機構の正面図、第4図は検知装置のブロック図、第5図は太陽歯車の回転角度と歯形誤差の大きさとの関係図である。

(P)、(P1) … 遊星歯車、(R) … 内歯車、(8) … 太陽歯車。

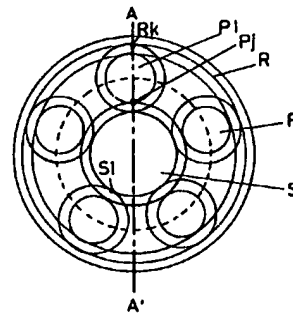
代理人 弁理士 藤 田 龍 太 郎

04

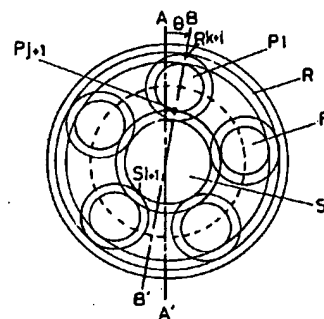
第 1 圖



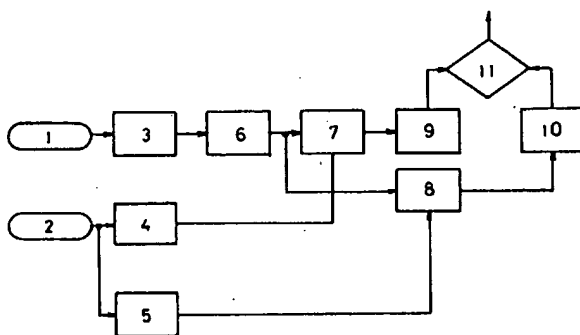
第 2 図



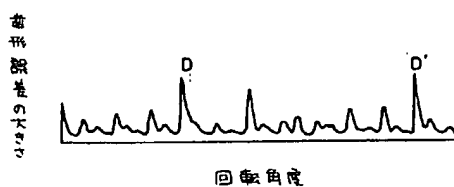
第 3 図



第 4 図



第 5 図



手續補正書 (自發)

昭和 55 年 7 月 30 日

適

特許庁長官殿

## 1 事件の表示

昭和 55 年 特 許 願 第 0 7 3 0 9 3 号

## 2 発明の名称

# 太陽齒車の損傷検知方法

### 3 補正をする者

事件との関係                      特                      許                      出                      願                      人

住 所 大阪市西区江戸堀1丁目6番14号

名 称 (511) 日立造船株式会社

代 表 者                      木      下      昌      雄

4 代 理 人      〒 5 3 0

住 所 大阪市北区東天満2丁目9番4号

千代田ビル東館

氏 名 (6151) 井理士 藤田龍太郎

電話 大阪 (06) 351-8733

## 5 補正の対象 明細書の「発明の詳細な説明」の欄

## 6 補正の内容

- (1) 第 9 頁第 8 行の「線分 B-B'」を「線分 BB'」に補正。
- (2) 第 13 頁第 4 行の「m 個」を「n 個」に補正。